



ミグダル効果観測のための アルゴンガスTPC開発

神戸大理 金崎奎

MPGD&Active媒質TPC 研究会 2022

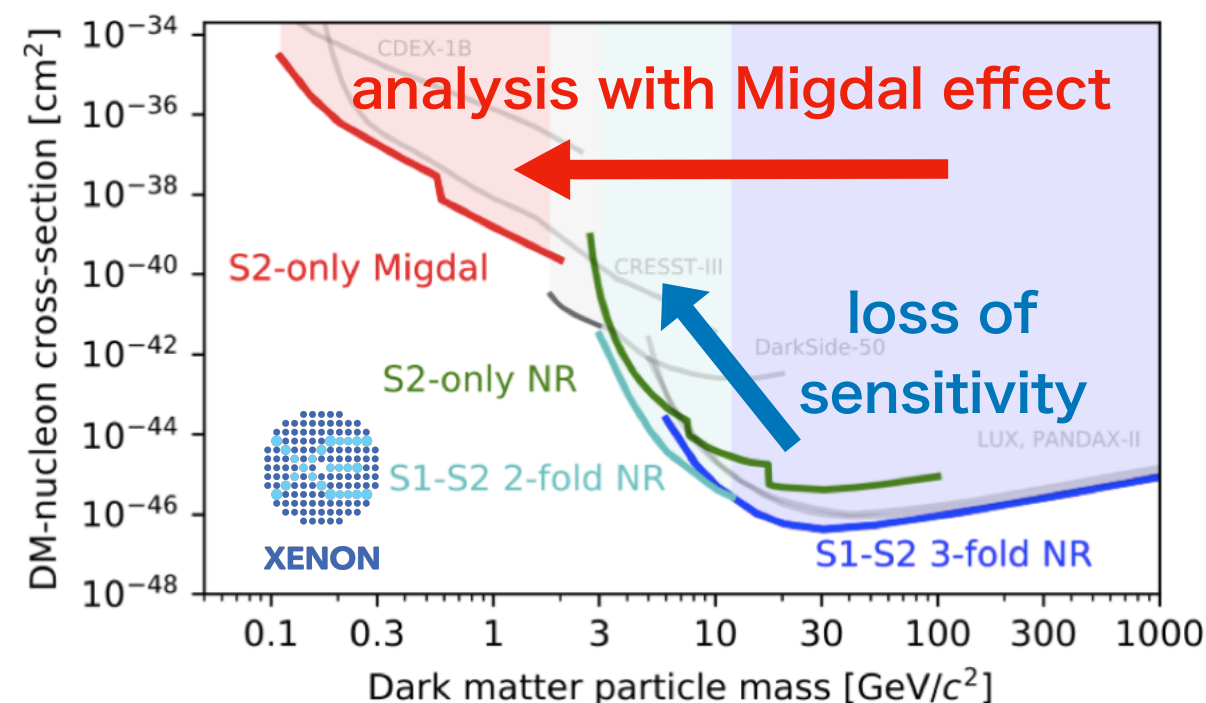
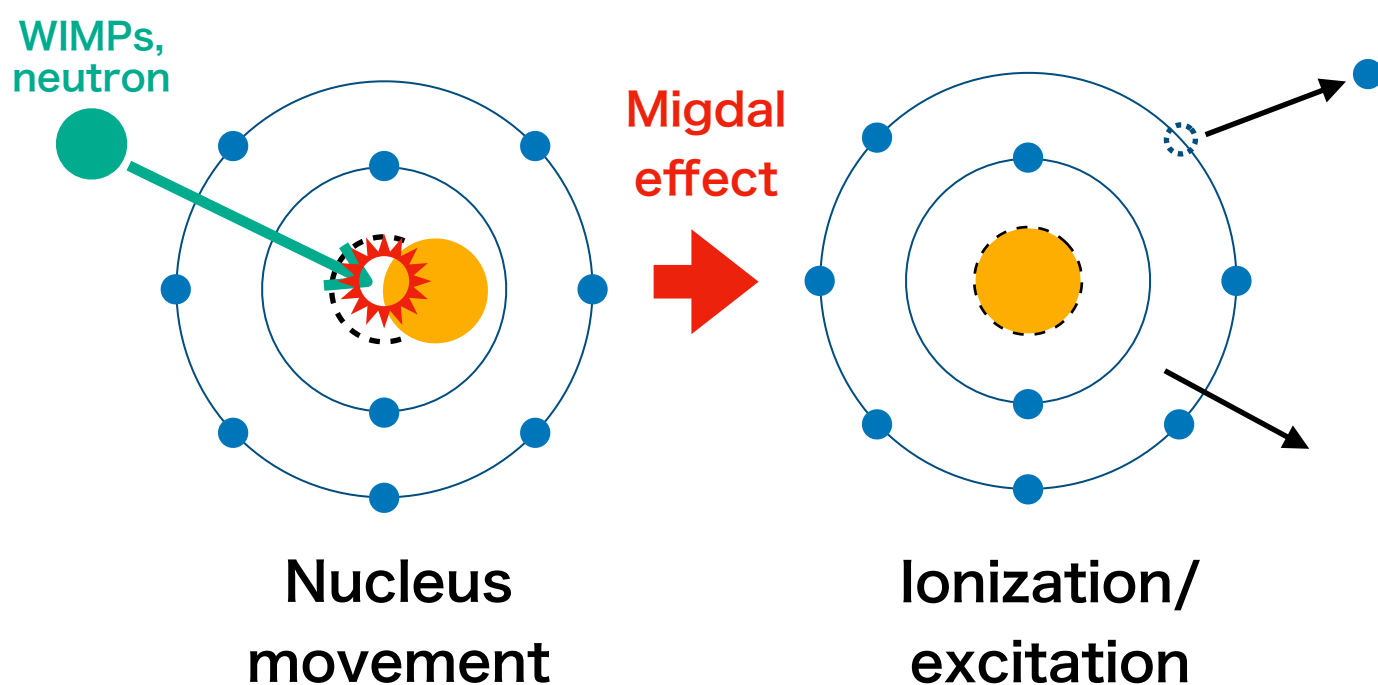
2022/12/09

@KEK つくばキャンパス

この研究はKEK測定器開発プラットフォームの支援を受けました。

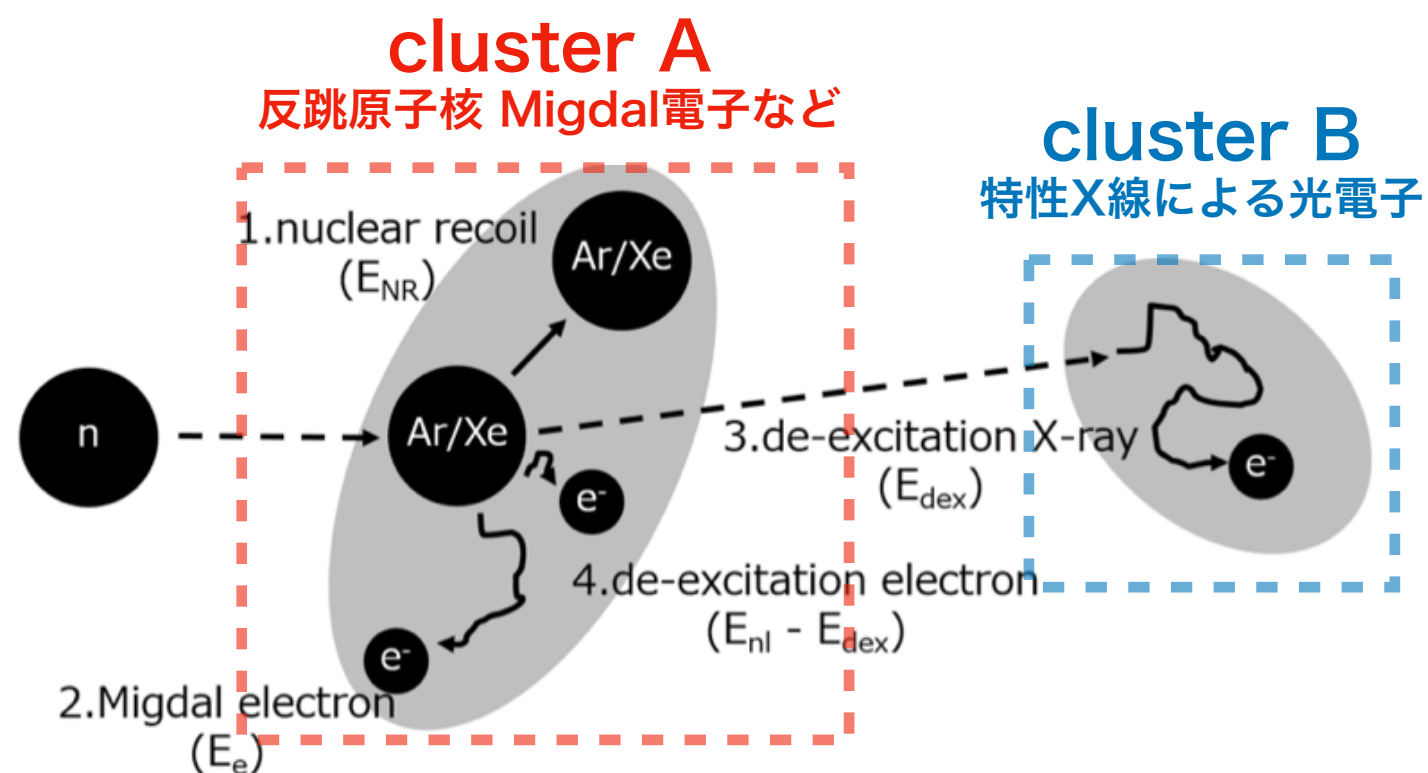
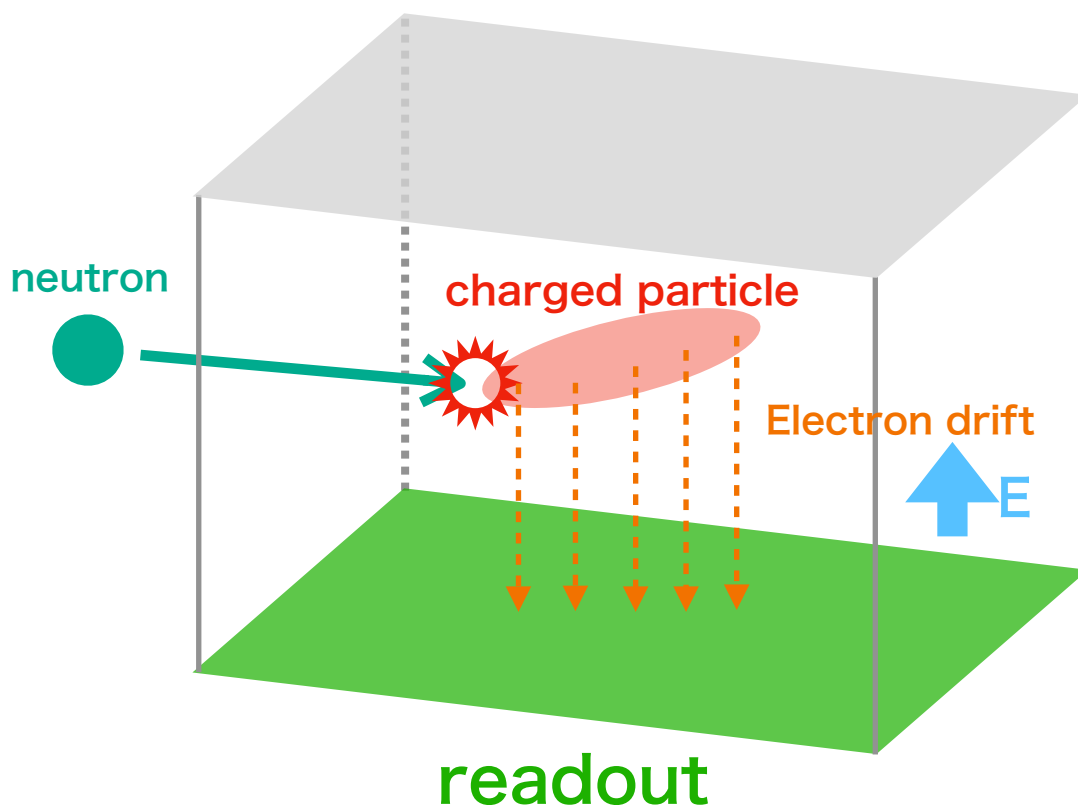
Migdal効果

- 原子核の急激な運動によって**低確率で追加の電離/励起**が起きる
- 近年、Migdal効果による追加の電荷信号を利用した**軽い(< sub-GeV) 暗黒物質の探索**が盛んに行われている
- 原子核反跳に伴うMigdal効果は**実験で未観測**
 - 存在するのか？理論計算にも不定性ある
 - Migdal効果の世界初観測を目指す



MIRACLUE

- ガスTPCと中性子ビームを用いてMigdal効果の初観測を目指す
- K殻電離の際の特徴的な **“2 cluster”** を三次元位置再構成
→ Migdal効果の確たる証拠 & BGの排除が可能
- 特に暗黒物質直接探索にとってモチベーションの高い
Ar/Xe ガスを使用

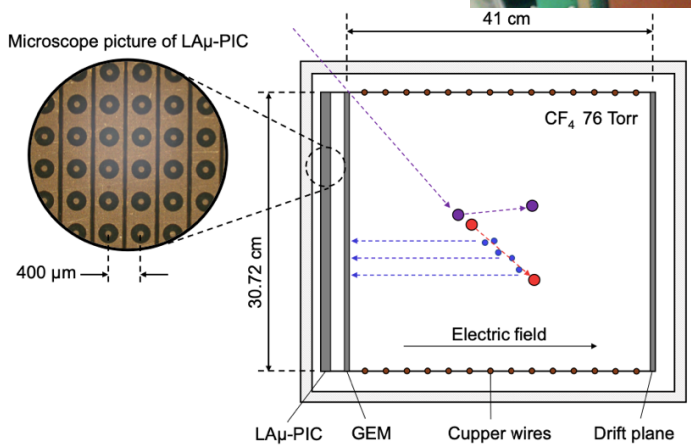
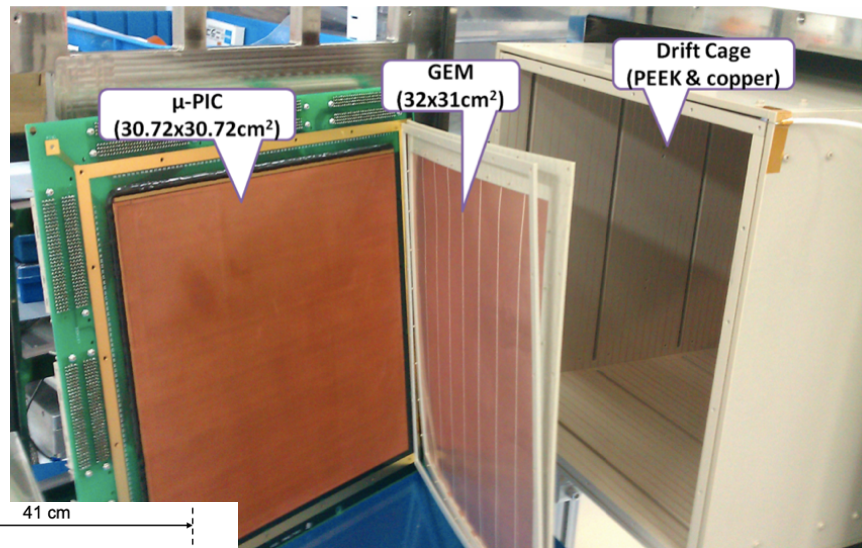


Introduction

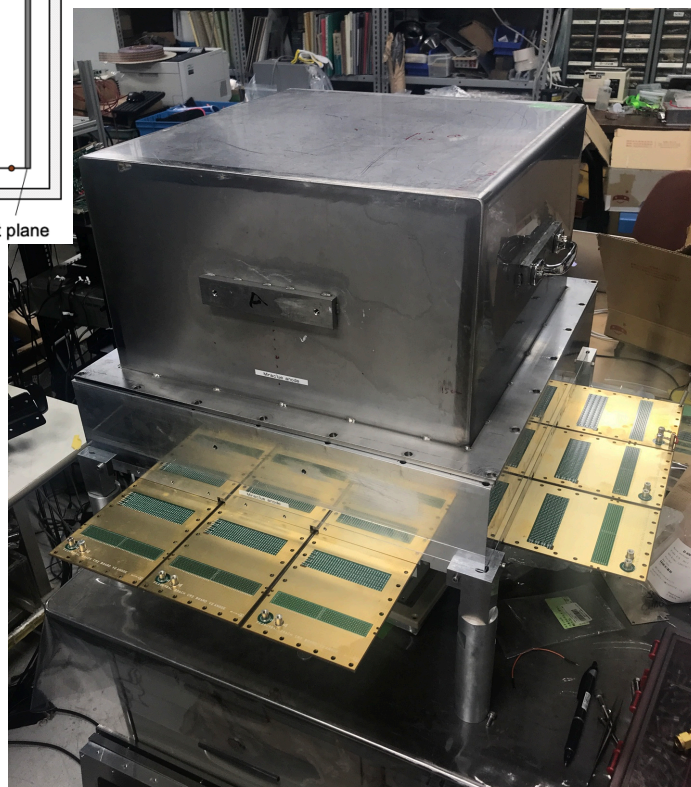
検出器



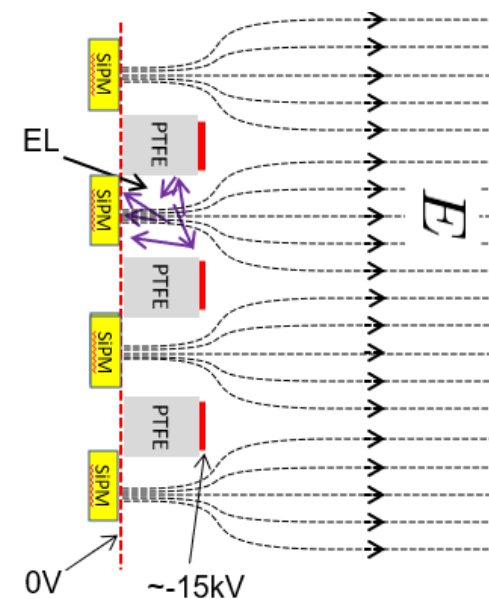
DM探索



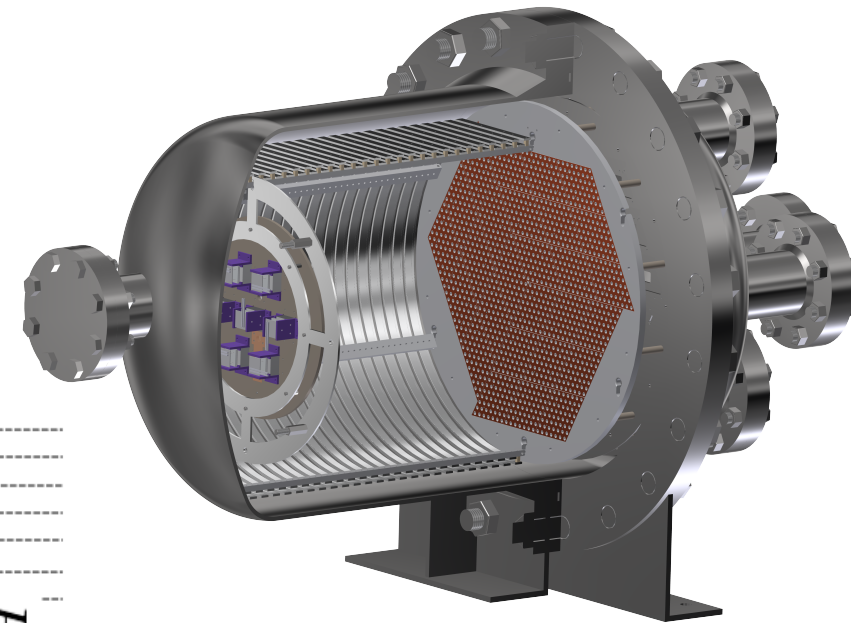
- Ar 1atm
- GEM + μ PIC
- (30cm)³
- 神戸大



0 ν $\beta\beta$ 探索

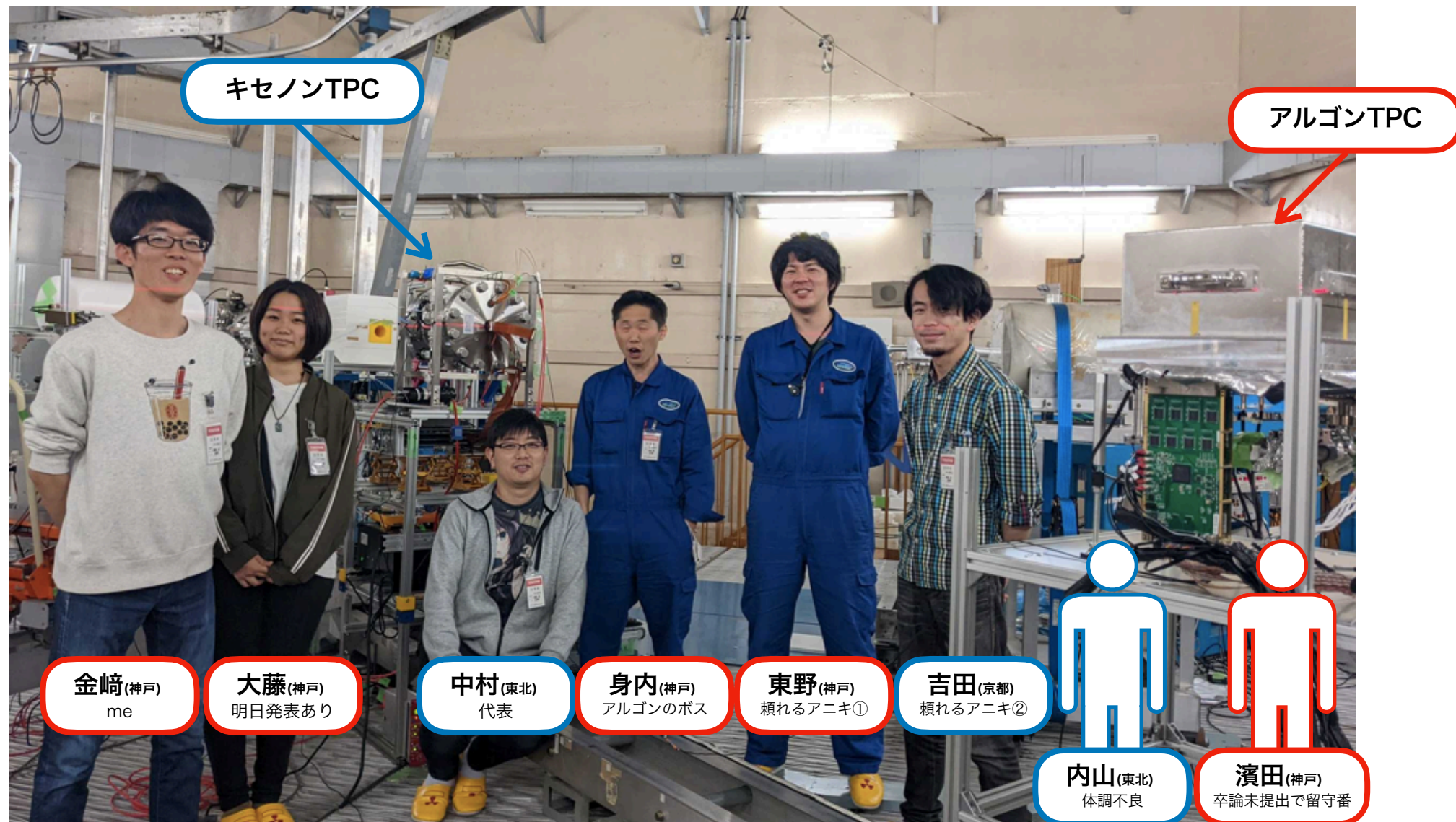


- 高圧 Xe
- ELCC + MPPC
- 16cm ϕ $\times$ 10cm
- 東北大/京大



MIRACLUE ステータス

- 今年の3,4月に初回ビーム試験を実施 @産総研
- 取得したデータの解析、
次回(再来週)へ向けた開発を鋭意行なっている



本講演の内容

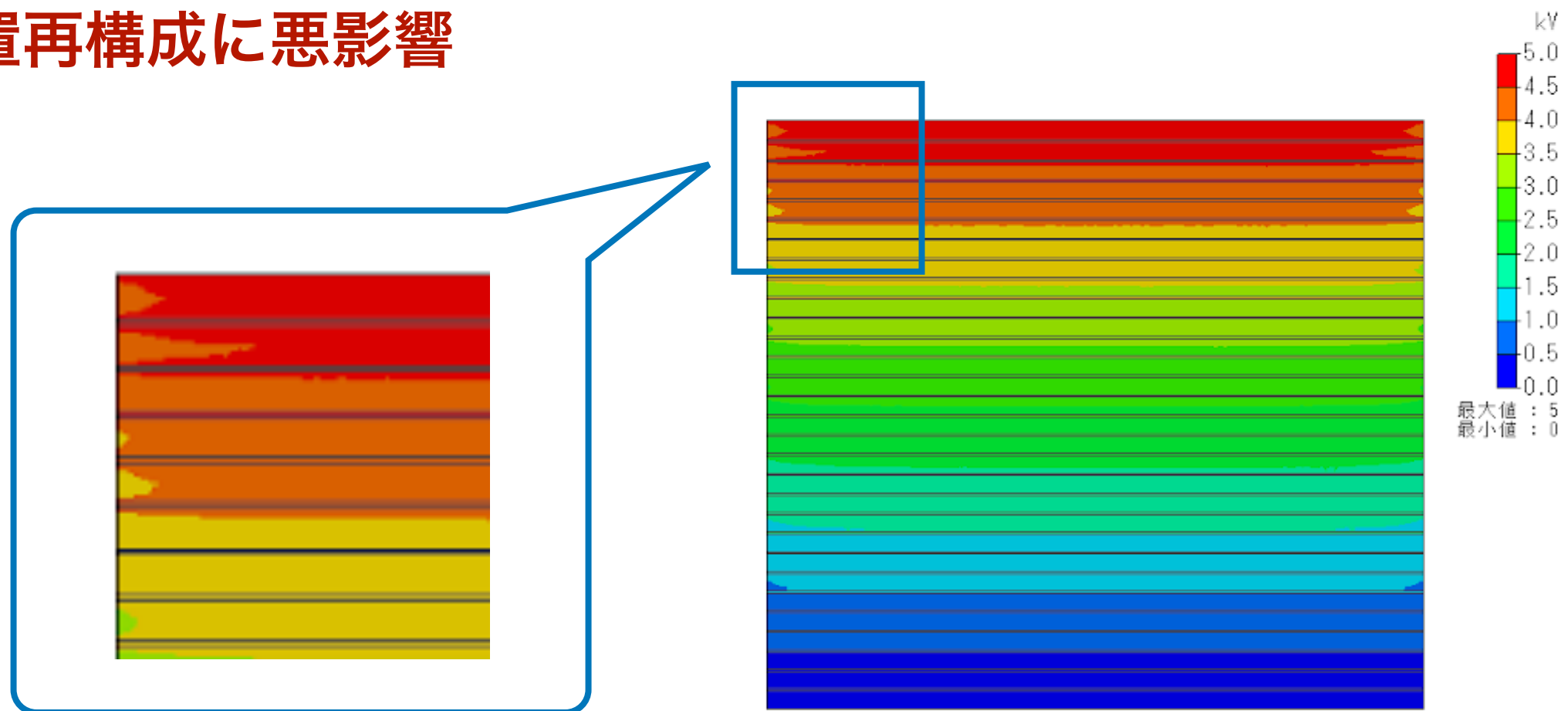
- アルゴンガスTPCの開発に焦点を当てたトーク
特に以下2点
 - ・ 高抵抗シートを用いた電場形成
 - ・ ガスバリア袋を用いた検出器の低物質量化
- 小型検出器(10cm)での R&D, 成果
→ 昨年度研究会からのアップデート中心
- 次回ビーム試験では統計量を稼いでミグダル観測を目指す
→ **検出器の大型化 (30cmサイズ)**



高抵抗シートを用いた電場形成

TPC内の電場形成

- フィールドケージが電場を形成
- 一般的な手法 抵抗分割法(1cm間隔)での電場を、MIRACLUEのアルゴンTPCとほぼ同じジオメトリでシミュレート
- しっかりとGNDの染み出しが見える
→ **位置再構成に悪影響**

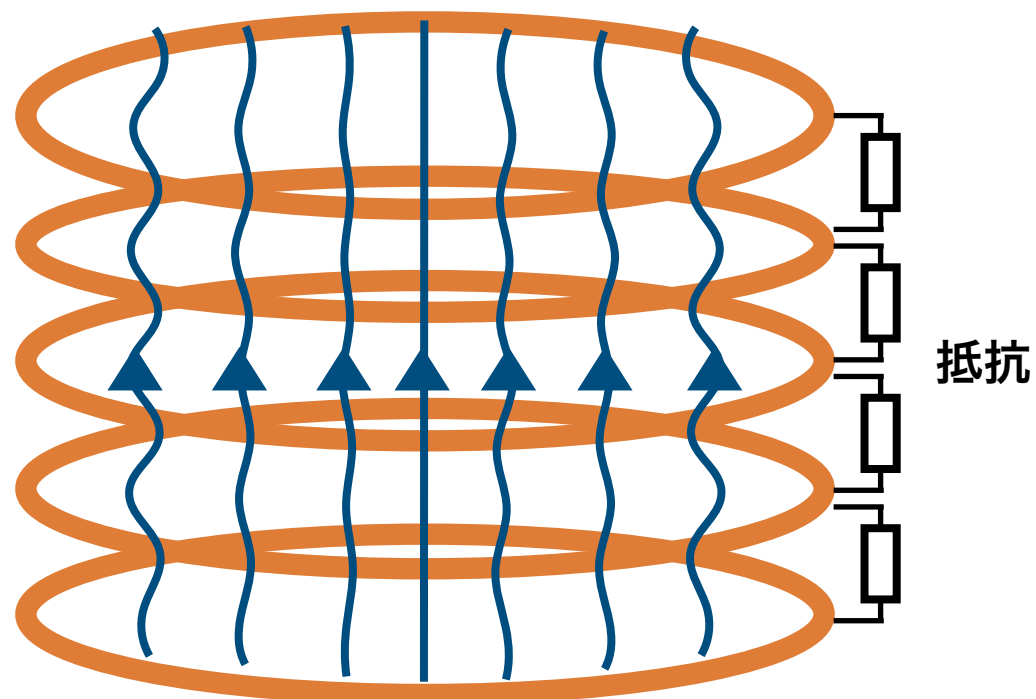


FEMTETを用いた電場シミュレーション

フィールドケージ

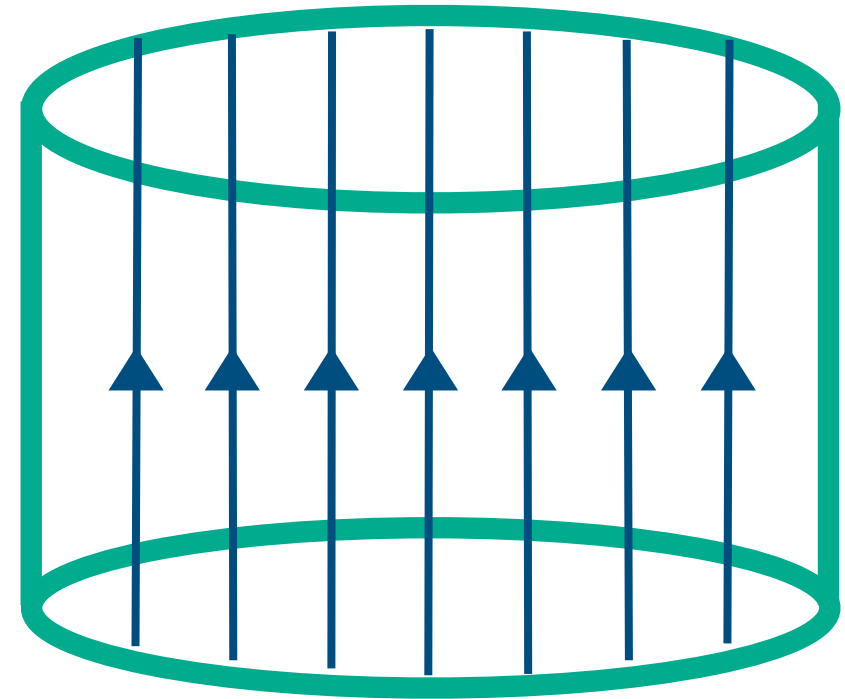
- 正確なイベント位置再構成が重要
→ ケージ内の電場構造に依存
- 従来の抵抗分割法を用いたFCでは**電場の非一様性**が少なからず存在
- **面抵抗を持ったシート**を用いることで一様な電場を形成可能
- 将来実験に向けてR&Dが複数進められてる 明日類似トークあり(神戸大・大藤)

電気力線(大げさめ)



抵抗

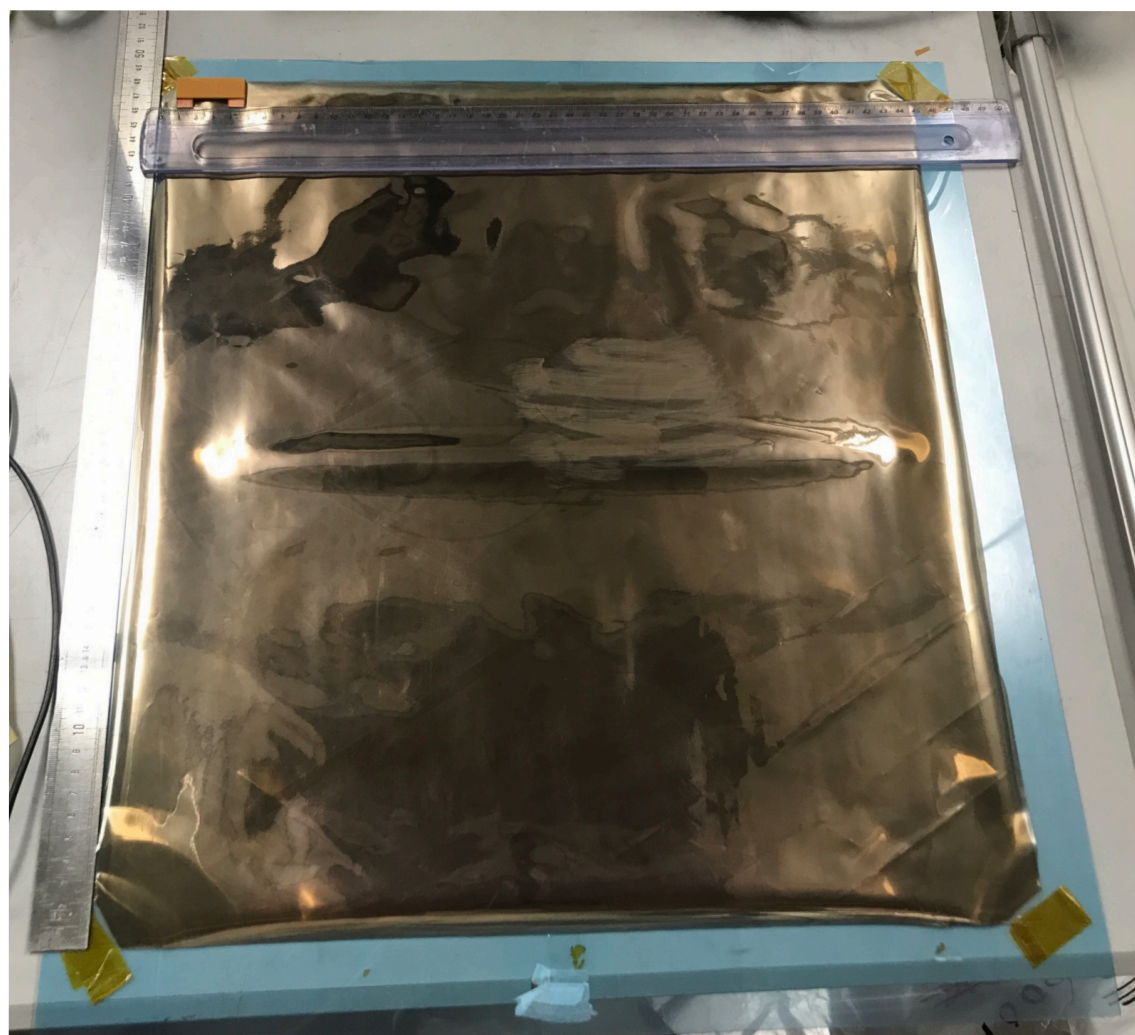
(例)銅リングを用いた抵抗分割法



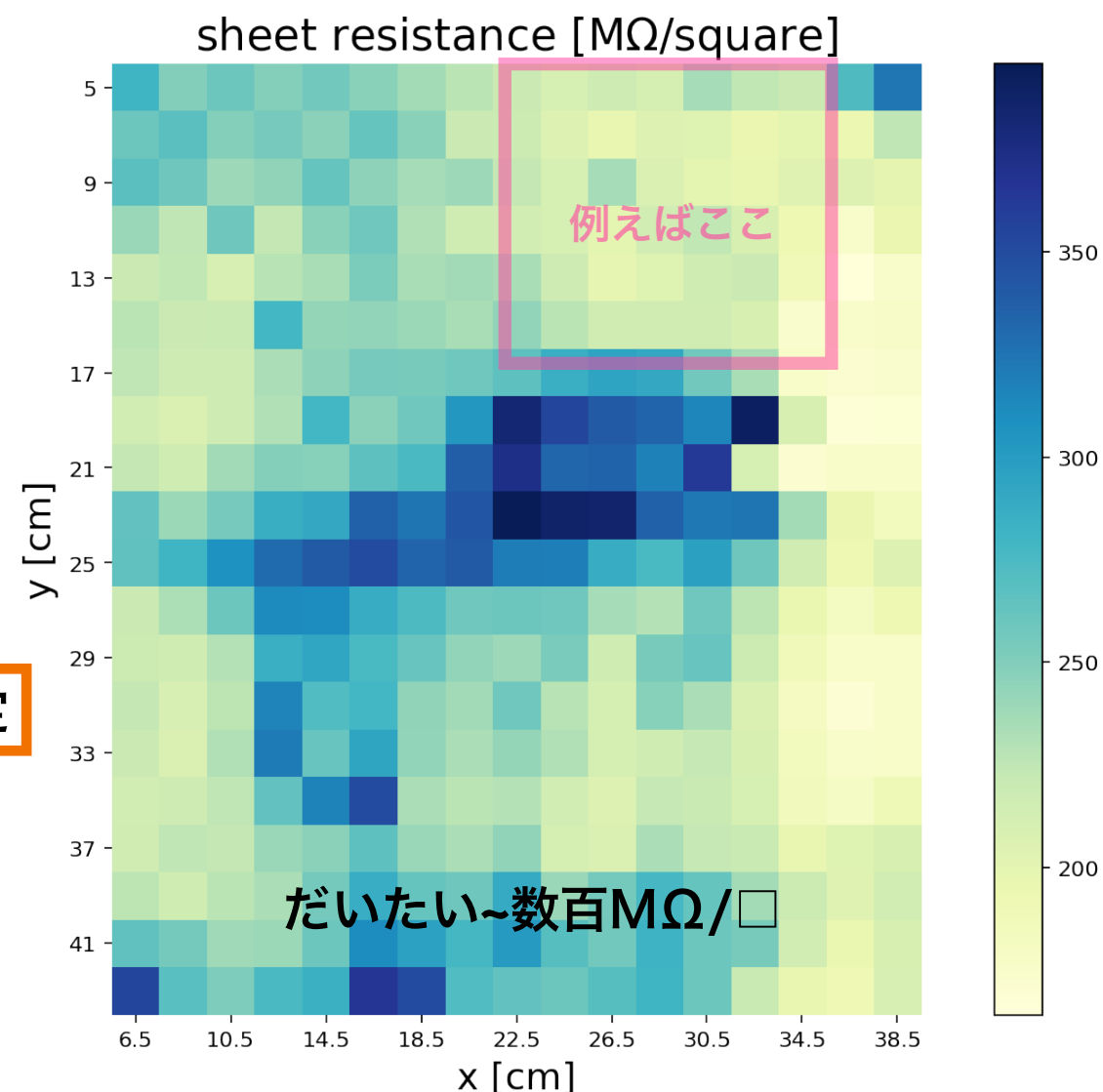
(例)抵抗性シートを用いた電場形成

小型検出器でのR&D

- 電場形成には**炭素スパッタリング**したEVOHを採用
- 一様な電場を形成するためには**一様な面抵抗**が必要
- 面抵抗を確認しながら一様なところを使う



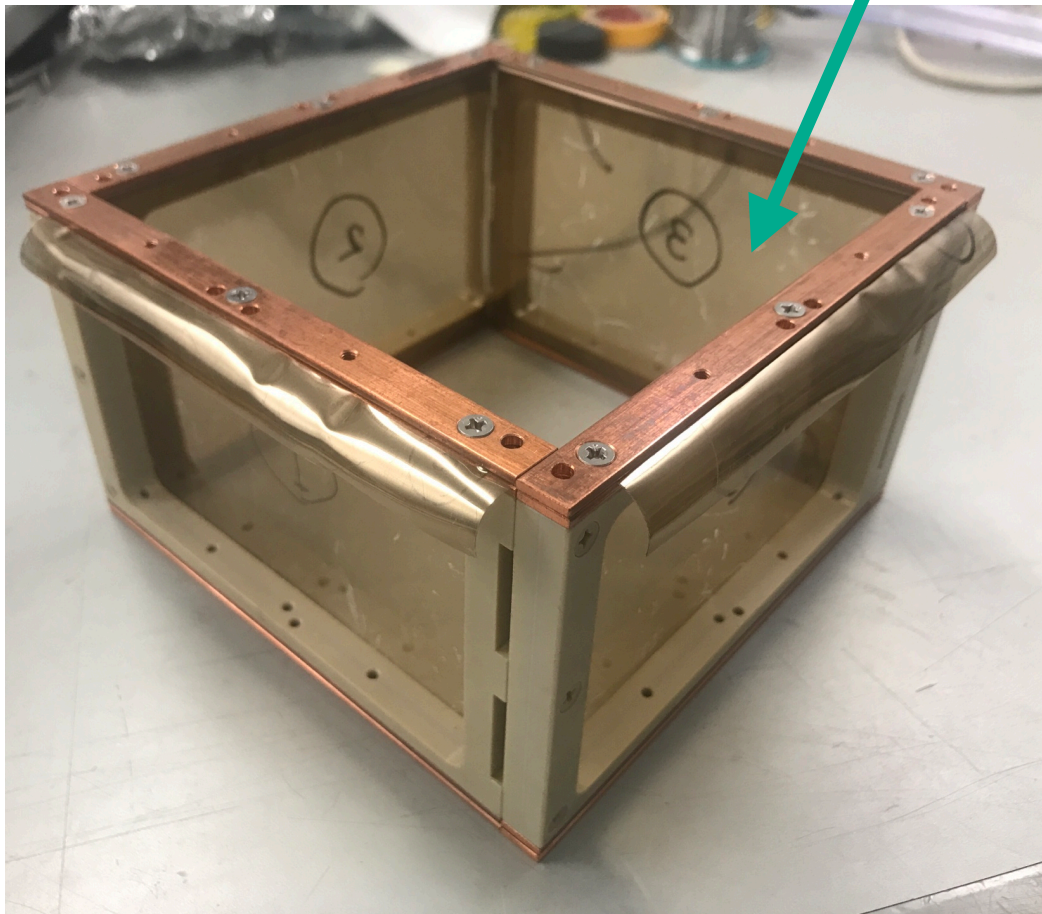
面抵抗測定



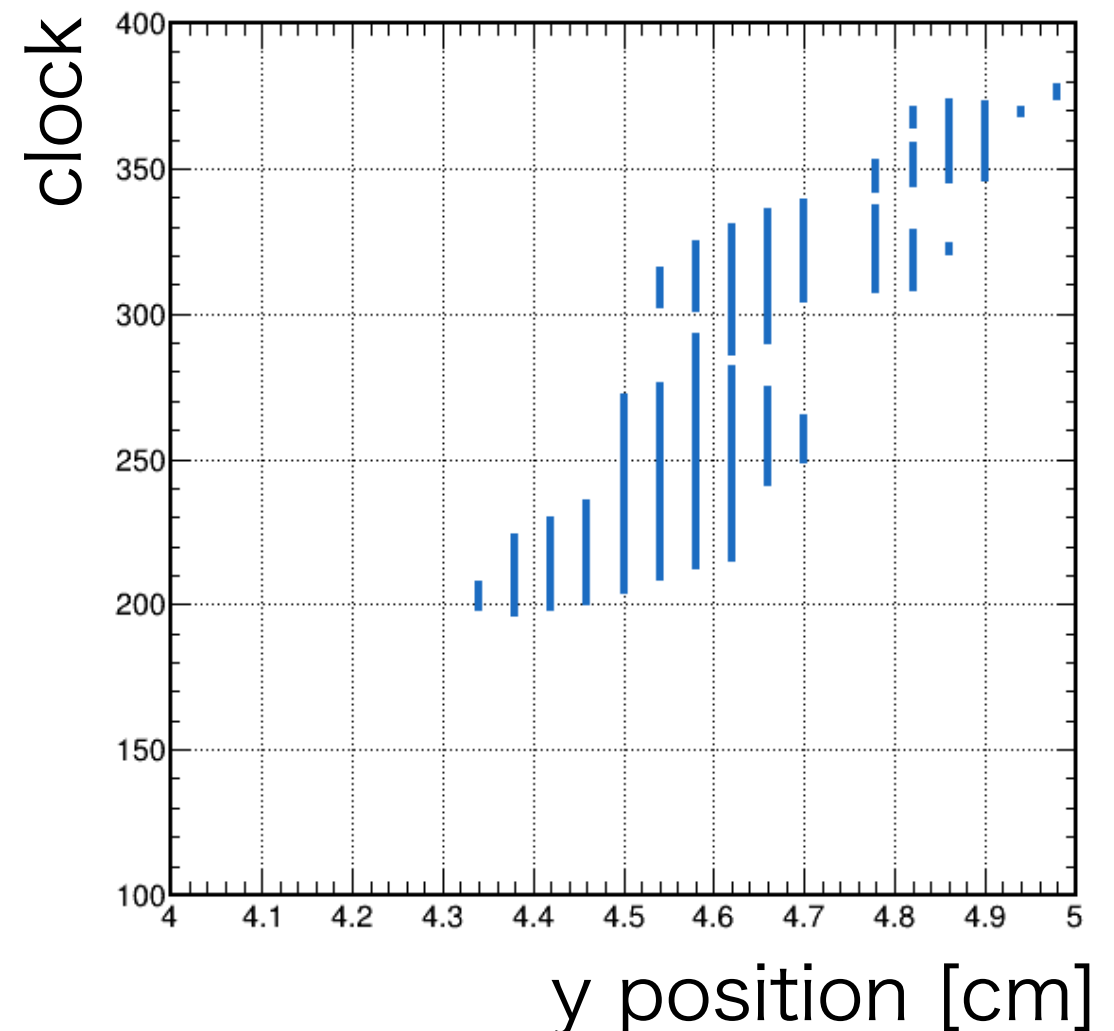
小型検出器でのR&D

- 高強度の中性子場でも飛跡を取得できていることを確認
- エレキの不調でビーム試験であまりいいデータは取れなかったが、

内側の面にCがスパッタされている

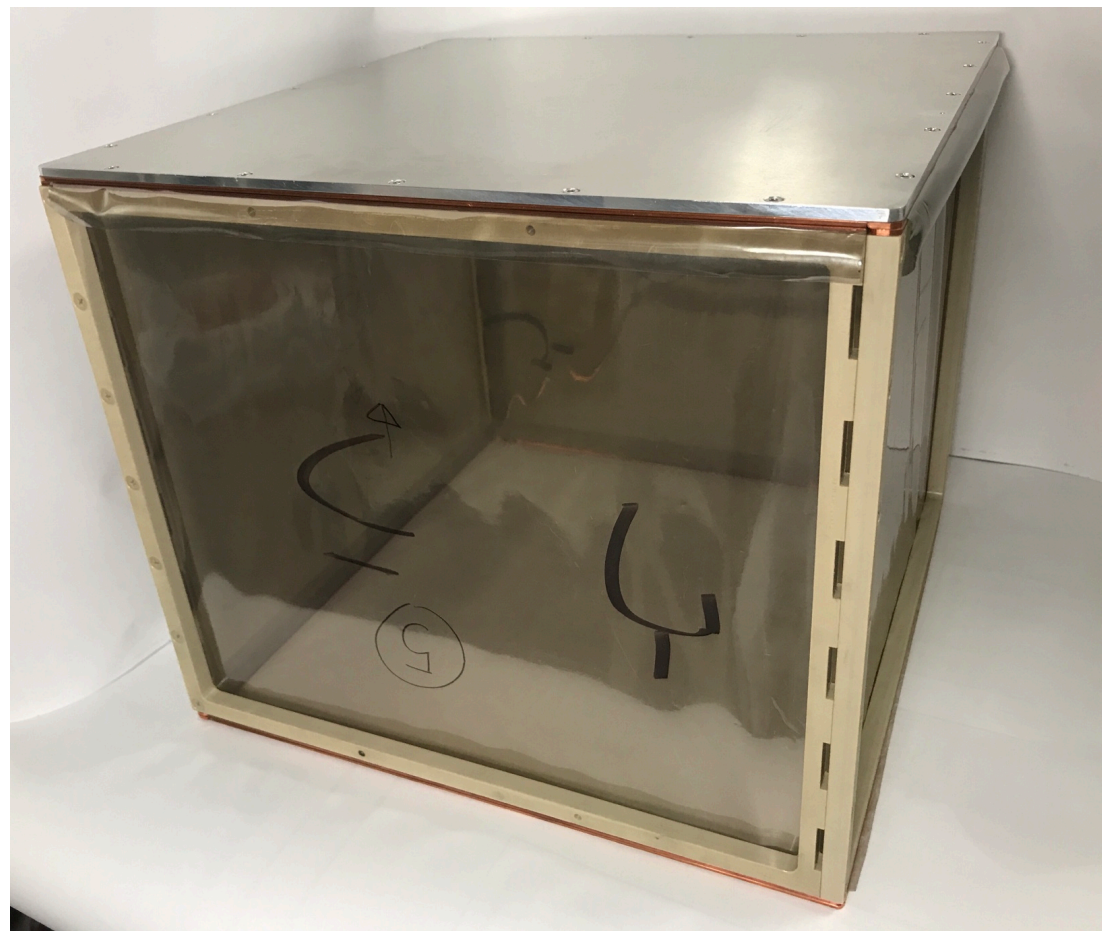


前回用いたFC



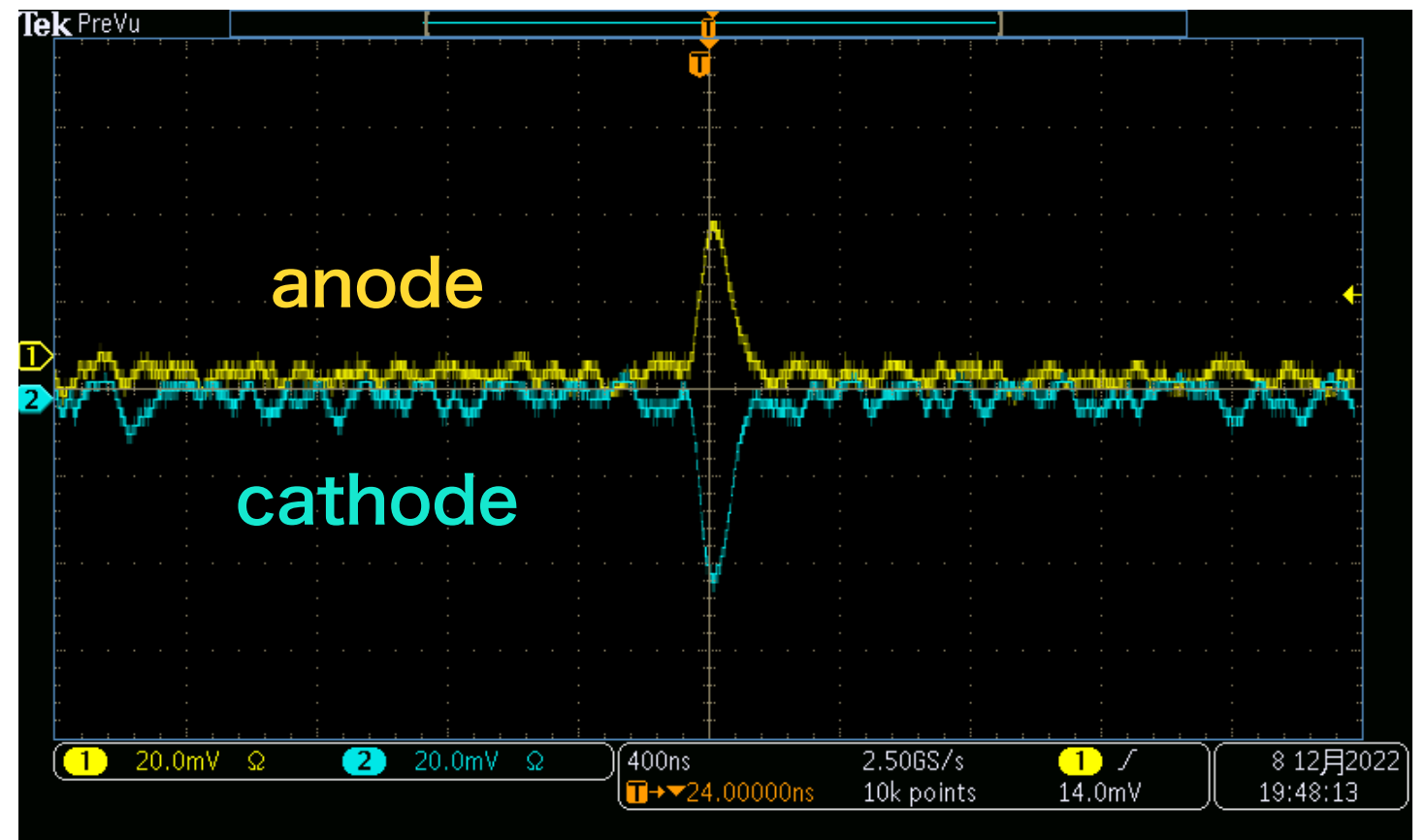
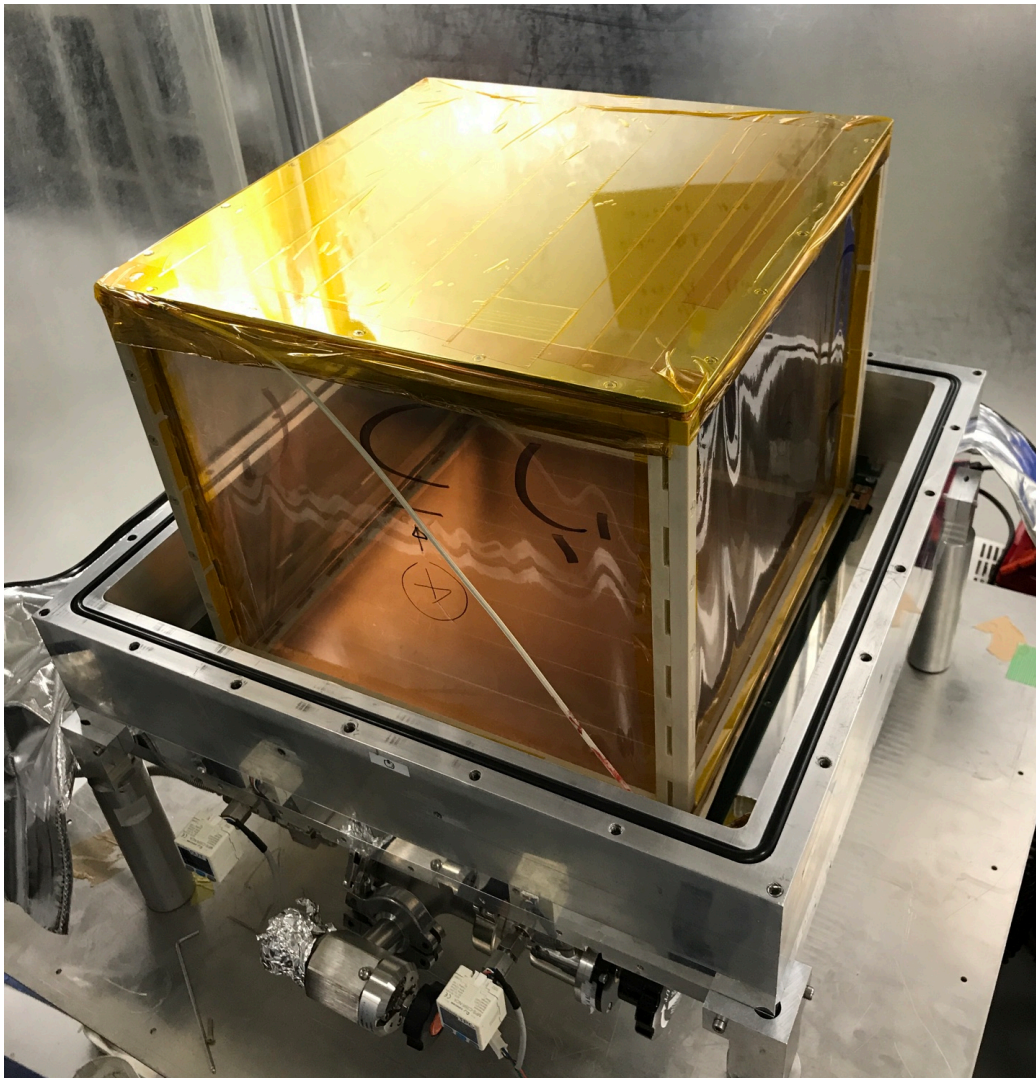
大型検出器への導入

- 大型化に伴い、フィールドケージも新たに作成
- 経験的にスパッタリングが摩擦で取れてしまうことがわかっていた
→ スパッタリングの量を約2倍($\sim 300\text{M}\Omega/\square$)で発注 [株式会社ビースパッタ様](#)
- 基本的には小型検出器と同様に組み上げた



開発状況

- 放電が頻発したので対策をしっかりとってインストール
- ^{252}Cf 線源を使って電離信号を確認→ 電場が形成できている！
- 測定した抵抗値から位置再構成への影響を見積もる予定

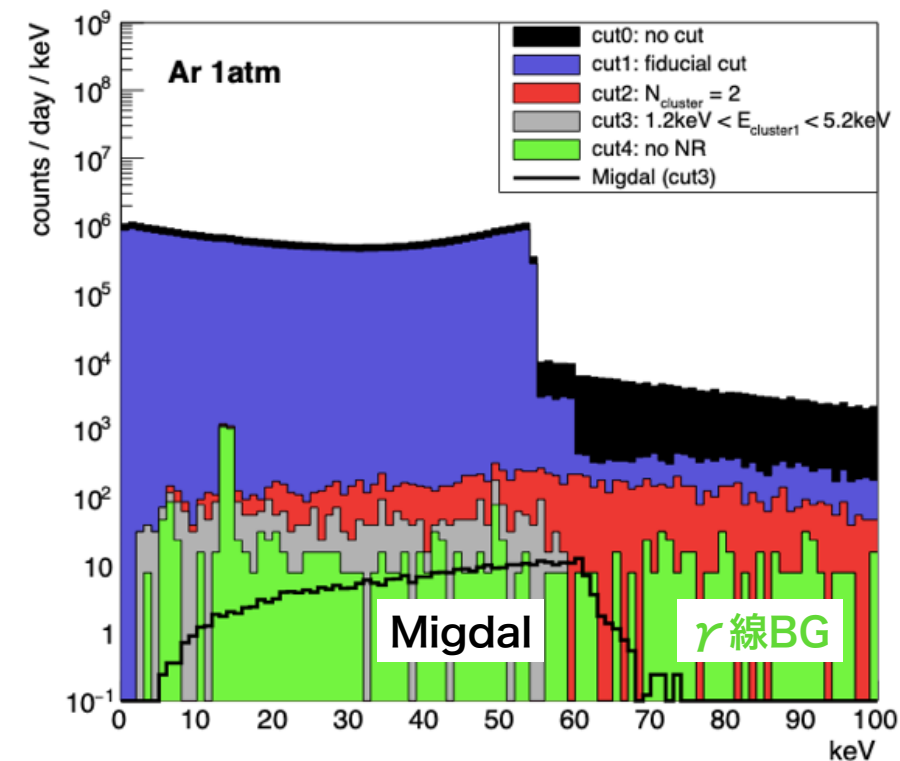




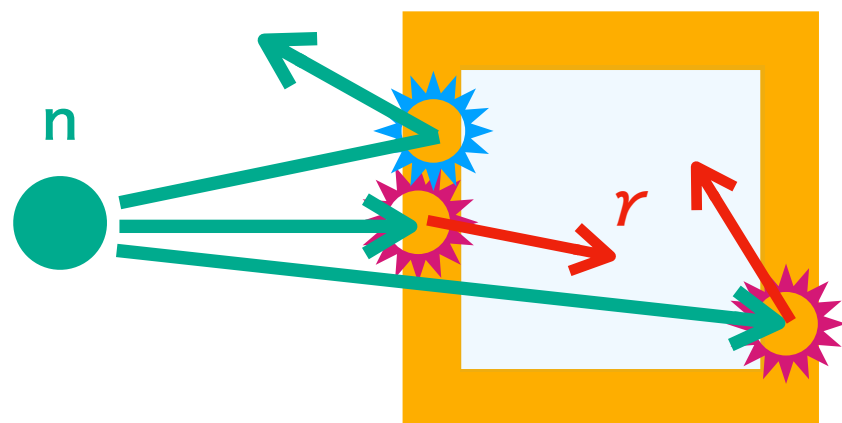
低物質量TPC

開発のモチベーション

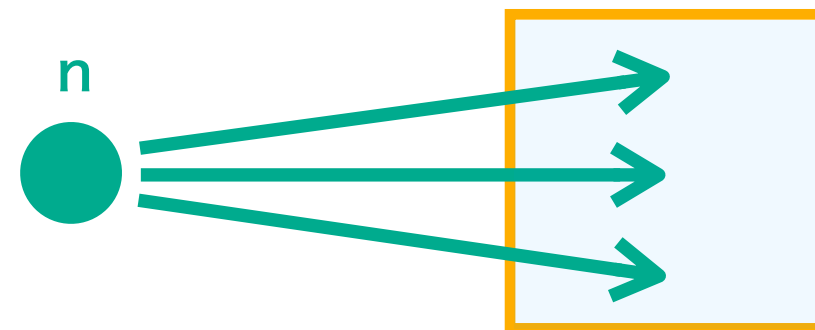
- 検出器(n, γ)由来のBGは排除が難しい
- 検出器の物質量を削減すると、
 - 検出器材での(n, γ)反応 BGを削減
 - 入射中性子fluxの減少を抑制→ **S/N比の向上**
- Ar TPCは 1 atm
→ 気密性さえ保てるならどれだけ薄くてもOK！



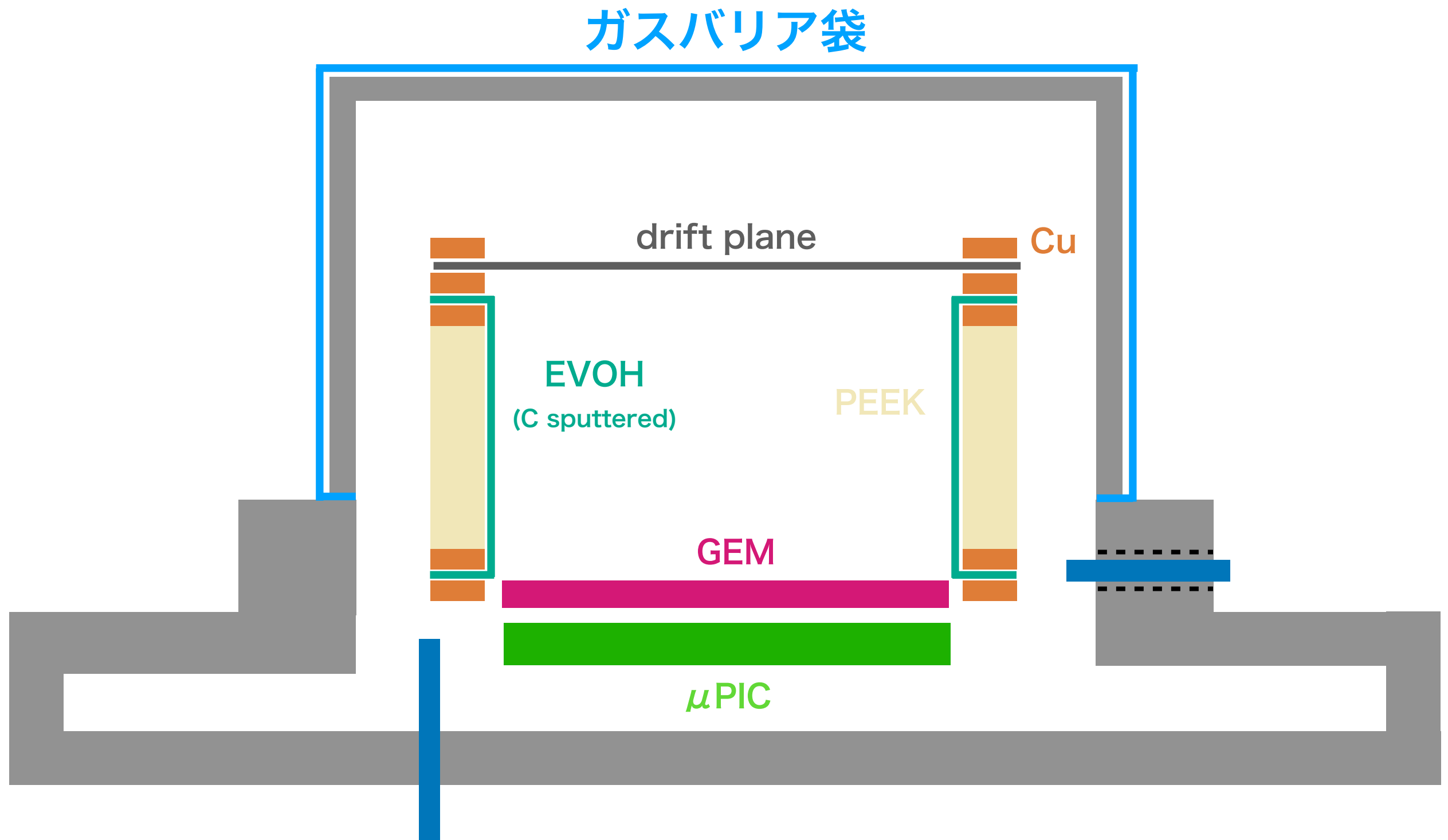
“Thick” Chamber



“Thin” Chamber



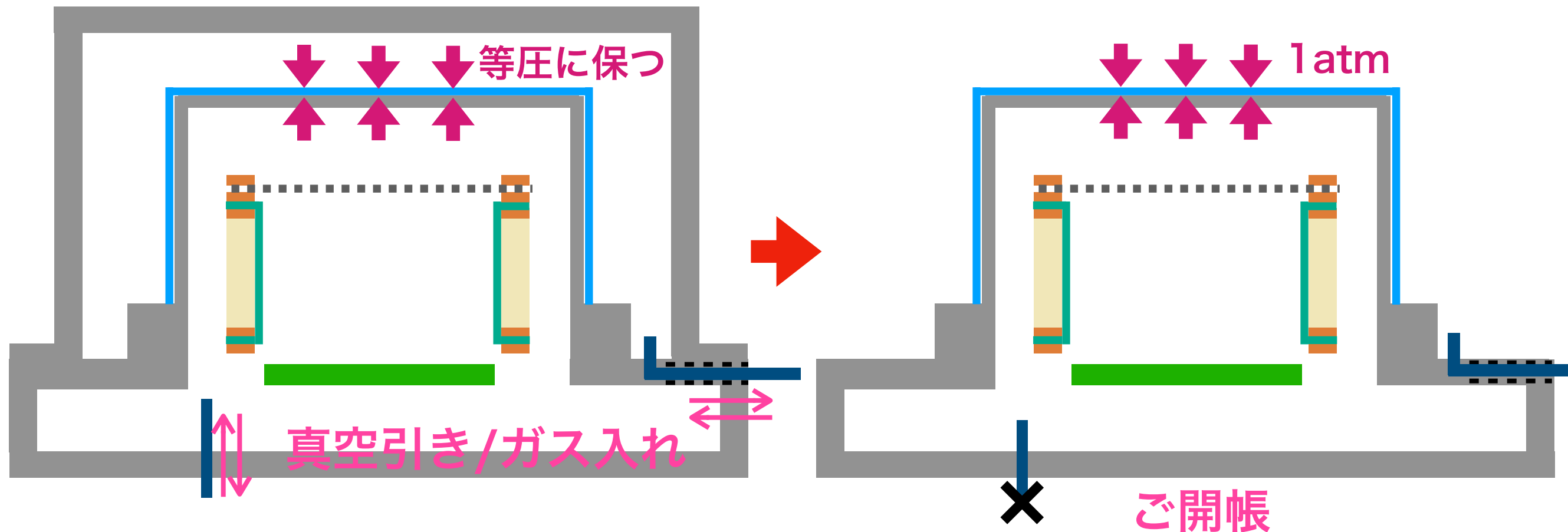
構造・原理



構造・原理

袋は薄いので当然普通に真空引きはできない

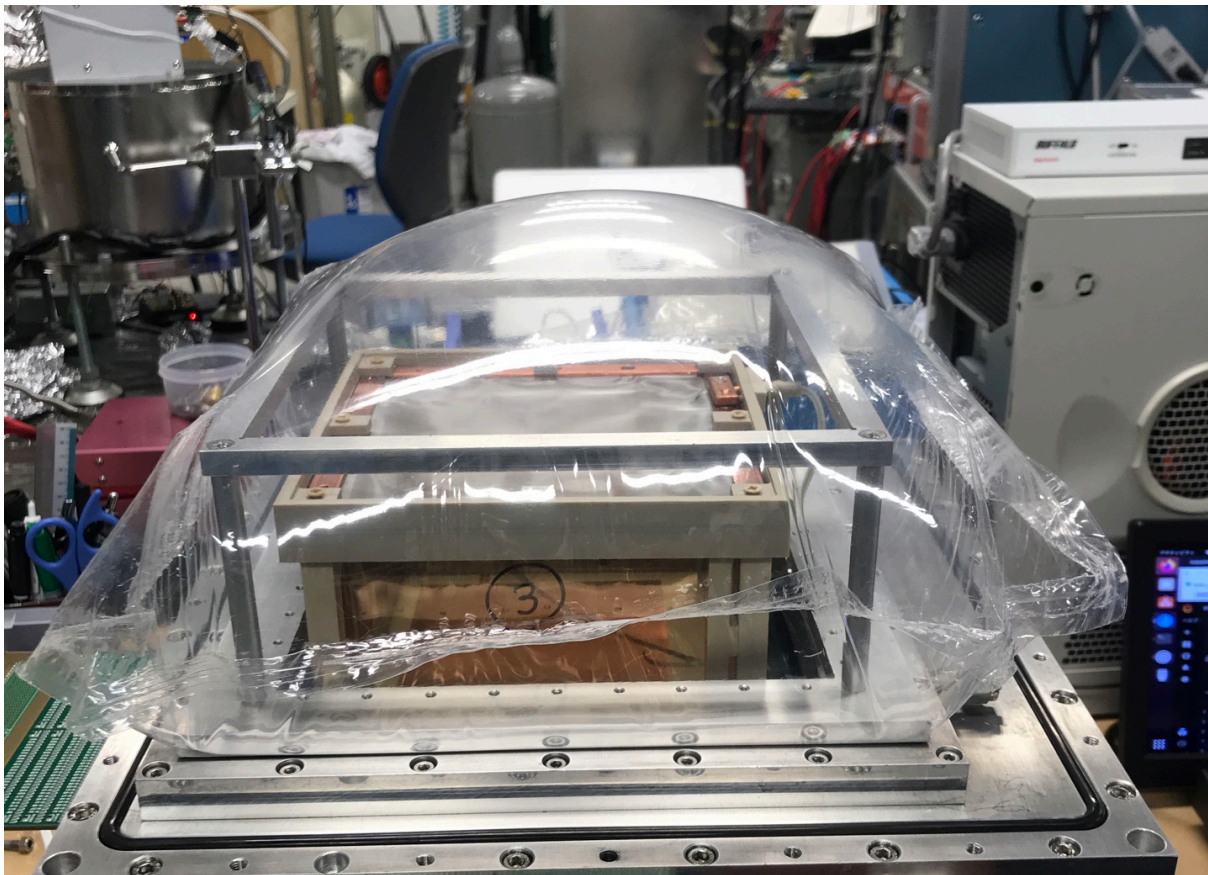
1. 内外の気圧を同程度に保ちながら同時に真空引き
2. 同時にガス入れ
3. 外容器を外すとできあがり



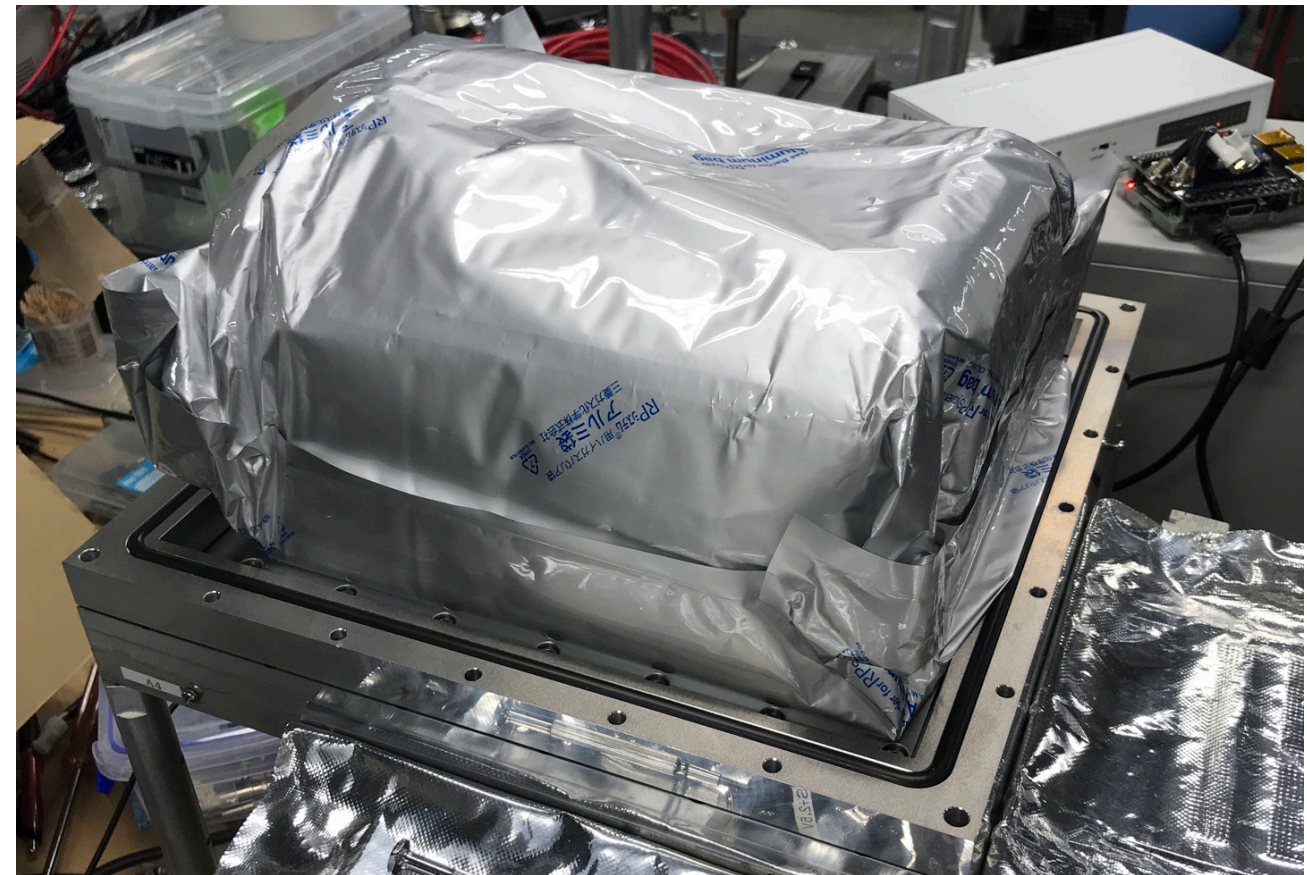
小型検出器でのR&D

- 袋は $\sim 100\mu\text{m}$ くらいの薄さ
→ 傷がつくとすぐダメになってしまう
- アルミを使ったガスバリア袋が比較的丈夫で良さそう

EVOHを用いた試作



三菱ガス化学 アルミ袋を使った試作



前回ビーム試験での成果

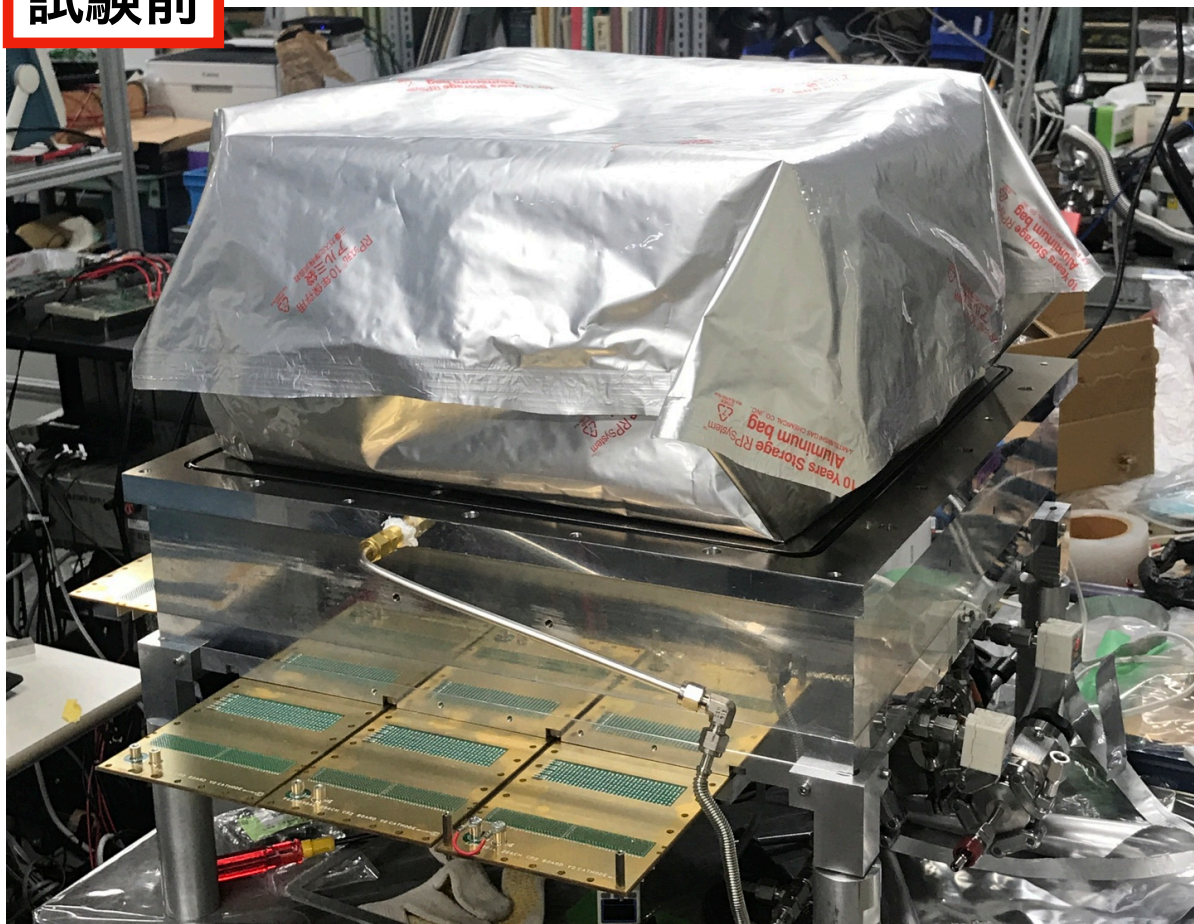
- 少なくとも数時間は持つものがあった
- 実際にビーム試験でもデータを取得できた



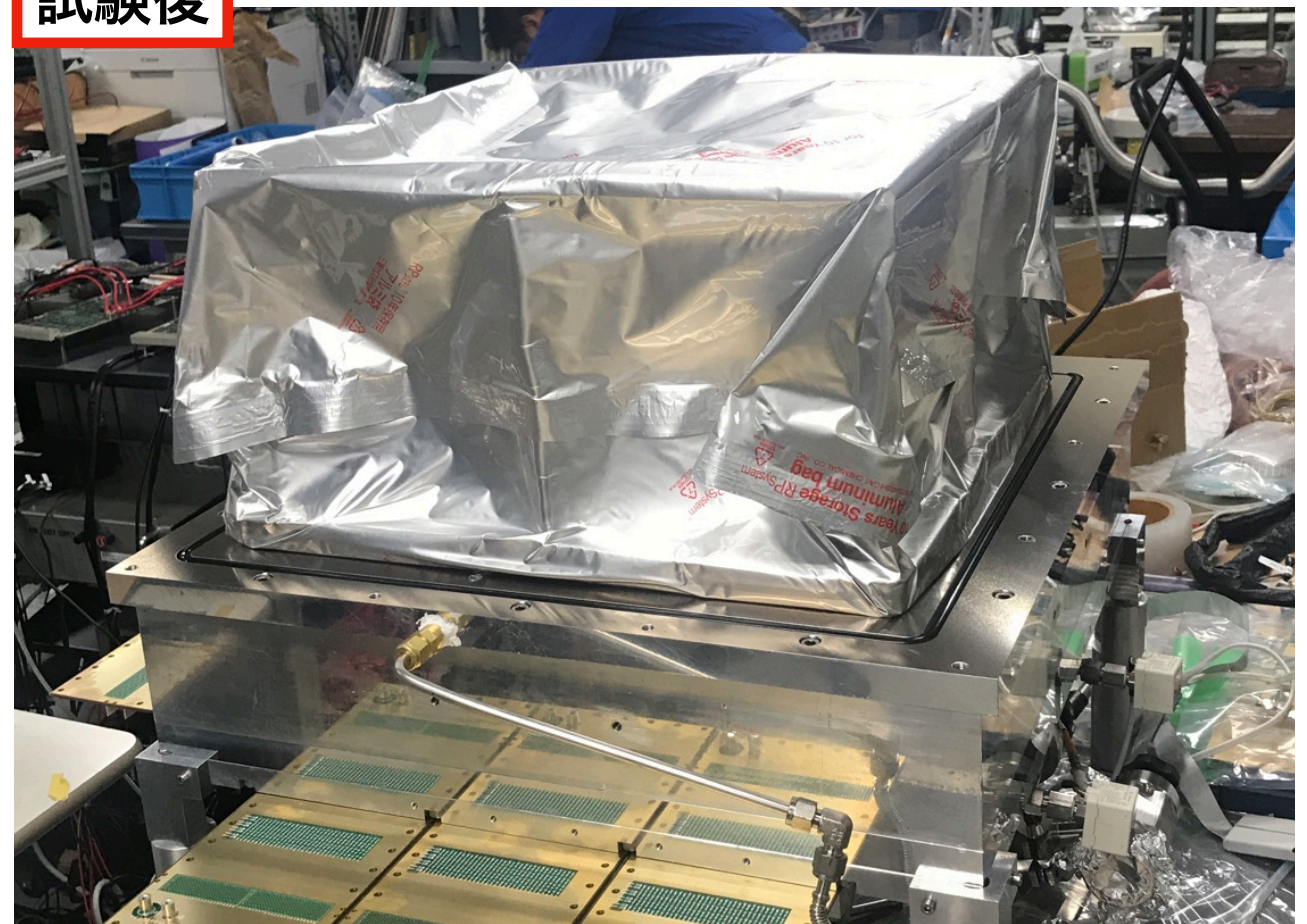
大型検出器への導入

- こちらも前回と仕組みは同じ
- 袋が大きい分取り扱いが難しく苦戦中
- 負担がかかるところには補強

試験前

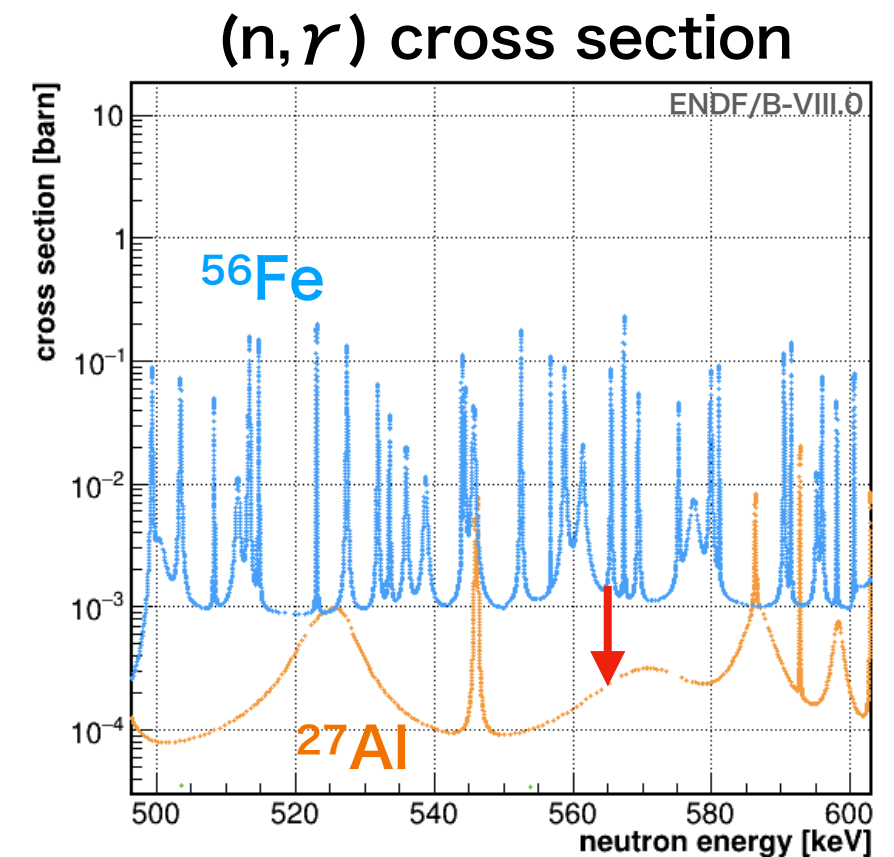
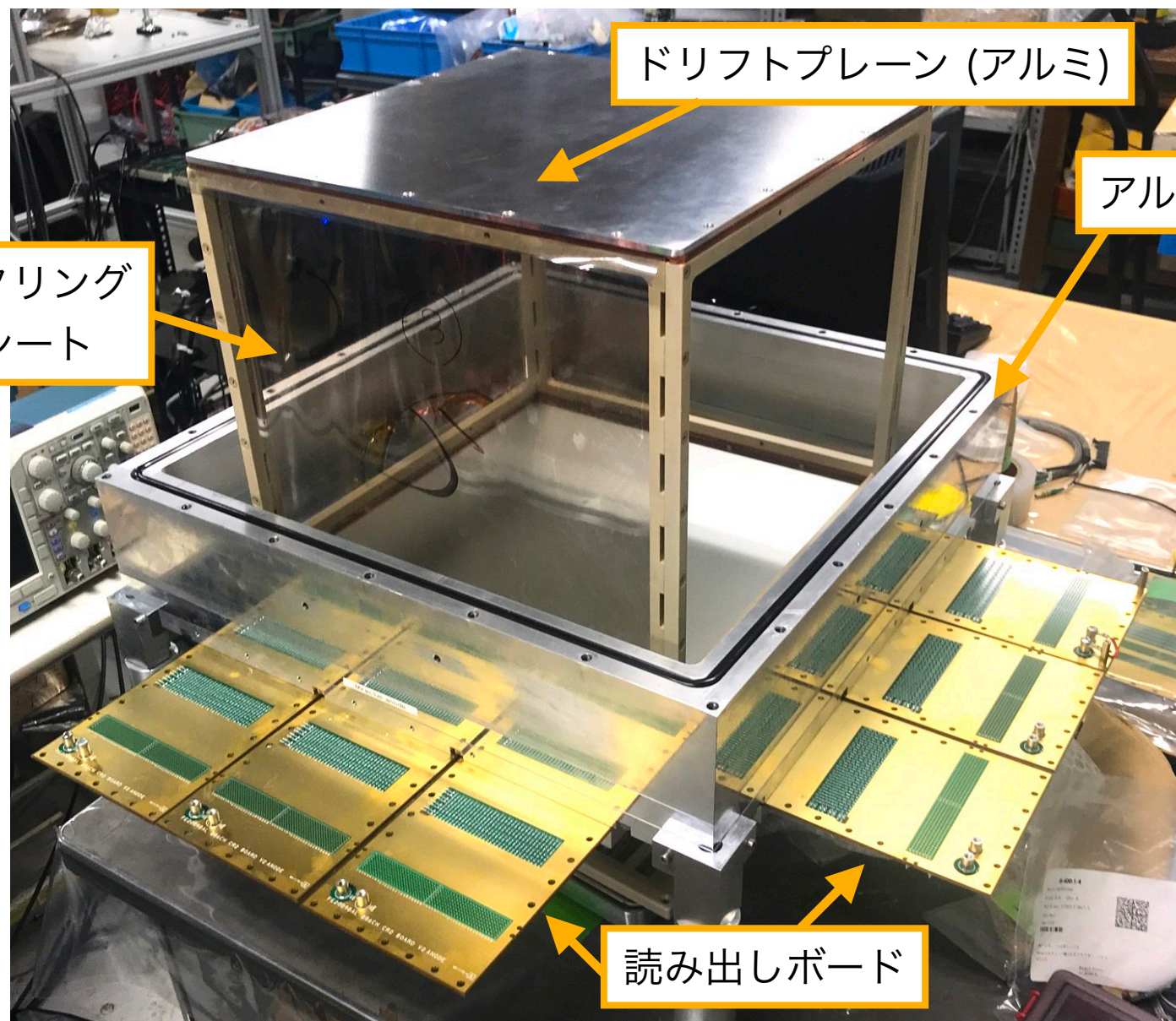


試験後



部材の選定

- 検出器で発生する γ 線削減のため、
(n, γ)反応断面積の小さいアルミニウムを可能な限り使用



- ミグダル効果観測へ向けてアルゴンガスTPCを開発している
- 高抵抗シートを用いたフィールドケージを作成、評価をこれから行っていく
- ガスバリア袋を用いた検出器のR&D進行中、なかなか難しい
- 再来週に2回目のビーム試験
→ ミグダル効果に対して世界初の観測結果を！